特定波段光輻射對不同栽培種菊花開花及花朵品質之差別效應

何佳勳、楊純明*、蕭巧玲
行政院農業委員會農業試驗所作物組

摘要

為瞭解特定波段光輻射對不同栽培種菊花開花及花朵品質之差別效應，並釐清其影響植株生長及開花性狀的機制，本研究乃進行一系列田間及盆栽試驗研究。本研究在位於臺中市霧峰區之行政院農業委員會農業試驗所簡易設施內進行盆栽試驗，在 2011 年 10 月 01 日栽植冬菊產季的大花栽培種‘黃秀鳳’及‘龍鳳紫’作為試材，自苗株種植於盆缽當日起即行夜間(22:00-02:00，計 4 h)特定波段光輻射照明處理，直至不照光對照組(CK)植株花蕾形成日為止。特定波段光輻射人工光源包括發光二極體(light-emitting diode; LED)和省電燈泡(energy-saving light bulb; ELB)，加上不照光對照組，合計 10 種光源處理。依照最小顯著性差異測驗(Least Significant Difference test; LSD)結果，分別比較開(切)花時之生長性狀及花朵特性。結果顯示，紅光 10 W LED (R) 之夜間照明會提高‘黃秀鳳’的花莖長度及葉位(片)數，白光 10 W LED (W_{10W})夜間光照處理會增加地上部鮮重，而紅藍光輻射 3 比 1 組合 LED (3R : 1B)及 W_{10W} 之處理株具有較佳的花朵直徑及周長。在‘龍鳳紫’方面，顯示 W_{10W} 會促使花莖長度增加，R 及 W_{10W} 會提高葉位數，R 及 ELB 處理則會增加地上部鮮重，而 3R : 1B 及 R 之花朵直徑及周長皆優於對照組。生育進展的試驗結果，顯示 W_{10W}、R、ELB 及 3R : 1B 等處理均可延長‘黃秀鳳’之達到露蕾期及開花期所需天數，而‘龍鳳紫’亦有相類似的結果。綜合試驗結果，相較於其他 6 種處理，以 R、W_{10W}、3R : 1B 及 ELB 等 4 種人工光源處理對菊花大花栽培種‘黃秀鳳’及‘龍鳳紫’具有符合試驗目的之較佳處理效果。

關鍵詞： 菊花、夜間光照、達露蕾所需天數、達切花所需天數、開花期、花朵品質。

* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw
投稿日期：2012 年 9 月 14 日
接受日期：2012 年 12 月 21 日
作物、環境與生物資訊 9:265-277 (2012)
Crop, Environment & Bioinformatics 9:265-277 (2012)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

Effects of Nighttime Lighting with Specific Wavebands on Flowering and Flower Quality of *Chrysanthemum*

Chia-Hsun Ho, Chwen-Ming Yang* and Chiao-Ling Hsiao

Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung 41362, Taiwan ROC

ABSTRACT

Lighting during nighttime is known to affect growth and flowering behavior of plants of *Chrysanthemum*. To clarify effects of nighttime lighting with varied wavebands on flowering and flower quality of *Chrysanthemum* spp., artificial light sources of light-emitting diodes (LEDs; 10 W) and energy-saving light bulb (ELB; 23 W) were adopted for this potted experiment in structure. The responses of treated plants in growth traits and flowering characters were measured and analyzed for lighting effects. The cutting seedlings of two big-flower species/varieties ‘Huang-Hsiu-Feng’ and ‘Lung-Feng-Tzu’ were planted in pots, two seedlings per pot, and grown under a

structure located in the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute. Treatments of nighttime lighting, during dark period of 22:00–02:00, started from the planting day until the date of floral bud formation appearing on control plants of no light treatment check (CK). There were ten lighting treatments in total including CK. By the results of Least Significant Difference test, treatment of red light LED (R; 10 W) increased length of floral stem and number of leaf node (leaf number) of 'Huang-Hsiu-Feng'. The aboveground fresh weight was enhanced by lighting with white light LED (W_{10W}; 10 W) while floral characters were improved by treatments of red-blue combined LED (3R : 1B; 10 W) and W_{10W}. In 'Lung-Feng-Tzu', W_{10W} enlarged length of floral stem, R and W_{10W} stimulated number of leaf node, and R and ELB increased aboveground fresh weight. Its flower characters were ameliorated by treated with 3R : 1B and R. As to effects on plant development, plants of both species lighted with W_{10W}, R, ELB and 3R : 1B were found extending their days required to floral bud formation and flowering. Among these ten nighttime lighting treatments, R, W_{10W}, 3R : 1B and ELB had relatively better results on plant growth and flower quality than others.

Key words: *Chrysanthemum*, Nighttime lighting, Days required to floral bud formation, Days required to flowering, Flowering stage, Flower quality.

前言

菊花 [*Dendranthema* × *grandiflorum* (Ramat.) Kitamura]為臺灣主要經濟栽培作物之一，具有多花色、多花形及調節產期等特色，可周年生產。菊花除了切花之外，亦可作為盆花或花壇植物等景觀花卉及茶飲用途。依臺灣「農業統計年報」(2012)資料顯示，2011 年菊花栽培面積為 825 公頃，產量達 20,512 千打，以彰化地區為主要栽培區域，約占 731 公頃。臺灣切花外銷市場以日本為主，早年外銷出口以大花菊為大宗，自約 2000 年雲林虎尾地區發展多花菊設施栽培，多花菊的出口比例呈現逐年增加趨勢。

植物對日長 (daylength) 或光週期 (photoperiod) 反應可概分為短日照植物 (short-day plants)、長日照植物(long-day plants)及中性植物(day-neutral plants)，隨著對於植物生理的日益瞭解及科技的進步，如今已可運用不同的栽培技術來調節植物的光週期，並控制其營養生長與生殖生長之間的轉換，以達到作物的周年生產目的(Lane *et al*. 1965, Runkle *et al*. 1998)。菊花概歸屬短日照植物，其開花特性亦受到光週期調控，通常置於超過 12 h 的黑暗環境下即可誘導花蕾(芽)形成，若於黑暗下給予持續性或間歇性的光照處理，則會使頂芽維持營養生長進而抑制花芽分化及開花現象 (Cathey and Borthwick 1964, Cathey and Borthwick 1970)。菊花栽培種依花芽分化至開花時所需天數不同，可概分為早花栽培種 (early flowering cultivars) 與晚花栽培種 (later flowering cultivars)兩大類；前者開花所需週數為 6–8 週，一般作為景觀花卉的菊花栽培種大多屬於這一類，而後者開花所需週數為 8 週以上。至於以溫室栽培作為盆花用途的菊花栽培種，其開花所需週數介於 6.5–11 週，切花用途的菊花栽培種則為 8–15 週 (Cockshull and Kofranek 1992, Van Zanten, 1999; Yoder Brothers 2000)。

植物可透過自身的感光色素/光源受體 (photoreceptors; 如光敏色素、花青素、胡蘿蔔素)來調節生長發育形態，如種子萌芽、植體生長向性及開花等光誘導生理反應 (Franklin *et al.* 2005, Sullivan and Dengej 2003)。研究顯示光合作用光子流 (photosynthetic photon flux; PPF) 及日累積光量(daily quantum integrals; PPF × light duration)會影響花朵的生長發育，當溫度維持在 18–20℃範圍，增強 PPF 將使花朵面積呈直線增加 (Karlsson *et al.* 1989, Warrington and Norton 1991)。文獻報告也顯示，菊花的生長、發育、開花及切花品質除了受到光照的影響，溫度效應亦會改變菊

花葉片展開速率、開花時間及後續發育進展，光照與溫度的交感作用更是複雜而深遠(Adams *et al.* 1998, Larsen 1982, Van der Ploeg and Heuvelink 2006, Van der Ploeg *et al.* 2007)。關於溫度對菊花的影響，相關文獻指出當夜間溫度較高(≧ 22℃)時可能會延緩花芽分化及發育，造成開花延遲且誘導不正常開花現象(Cathey 1954, Cockshull 1979, Whealy *et al.* 1987)，而夜間低溫環境將會提高花朵直徑且增加單位植株的花朵面積與鮮重(Vince 1960, Carvalho and Heuvelink 2001)。當溫度低於 13℃時，依菊花栽培種之間的差異，延遲開花天數將介於 5–56 天不等(De Jong 1984)。此外，高溫加速呼吸作用且消耗切花植株的水分與碳水化合物，導致菊花瓶插壽命的急劇縮短(Coorts 1973, Whealy *et al.* 1987, Cockshull and Kofranek 1994)，主要係高溫改變了菊花植株體內的葡萄糖(glucose)及果糖(fructose)濃度，也將使得切花品質劣化(Adachi *et al.* 2000)。

由半導體材料所製成的發光二極體(light-emitting diode; LED)元件，是目前國內光電產業中最具競爭力的產品之一，具有體積小、壽命長及低耗電量等特性，其光源特性為單一波段或混合波段。LED 光源依照光輻射波段區分，概可分為可見光 LED (如 450–680 nm 波段)及非可見光 LED (如 850–1550 nm 波段)兩大類，其燈具則可依需求客製化。不同光輻射波段對植物形態的影響各有其效能，如介於 400–700 nm 範圍的光波段主要以提供植物光合作用所需的人工光源，大於 700 nm 波長範圍的近紅外光波段具保溫功效，另有干擾植物形態的特殊波段。由此顯示，LED 光源具備農業生產之應用功效，可利用於作物栽培與形態調節等多元方向(Brown *et al.* 1995, Bula *et al.* 1991, Kim *et al.* 2004, Yang and Lee 2009)。

現行國內菊花栽培多以 100 W 或 60 W 白熾鎢絲燈或 23 W 省電燈泡進行夜間光(電)照處理，以調節菊花開花期與生產期，而電(光)照費用為主要支出成本。本研究改以 LED 光源取代現行光源來提供菊花的夜間照明，將比較特定波段光輻射對不同栽培種菊花在調節開花期、促進植株生長及改進開花品質上之差別效應，供作替代性光源之可行性參考。未來更期能建立最佳光照條件來從事菊花的栽培管理，並提高產業的能源使用效率，以及達到節能減碳之政策目標。

材料與方法

本項盆栽試驗設於臺中市霧峰區之行政院農業委員會農業試驗所簡易設施內，在 2011 年 10 月間栽植冬菊產季的兩個大花栽培種[‘黃秀鳳(Huang-Hsiu-Feng)’及 ‘龍鳳紫(Lung-Feng-Tzu)’]作為試驗材料，扦插發根苗購自彰化縣田尾鄉專業農民。將苗株種植於直徑、深度皆為 0.3 m 之塑膠盆缽，每個盆缽栽植 2 株、每個處理 12 盆，盆內填以 3：1 比例均勻混合之泥炭土和南海真珠石的栽培介質。自苗株種植於盆缽當日起即行夜間(22:00-02:00，計 4 h)特定光輻射照明處理(暗期光中斷)，每週隨著植株生長而調整光源高度 2 次，期以全程維持植株頂部至光源近於 1.5 m 距離，直至對照組花蕾形成(‘露蕾期’)，處理株才停止光照處理。

特定光輻射人工光源包括發光二極體 LED 光源燈具(電壓 110 V、功率 10 W 或 5 W，工業研究院，新竹市)和省電燈泡(電壓 110–120 V、功率 23 W，臺灣飛利浦電子公司)，人工光源放置高度在苗株上方 1.5 m 處，計有紅光 LED (R; 中心波長 650 nm，光強度 1.61 μmol m^{-2} s^{-1}、10 W)、紅藍光 LED (3R：1B; 中心波長分別為 650 nm 及 450 nm；光強度 0.41 μmol m^{-2} s^{-1}、10 W)、藍光 LED (B; 中心波長 450 nm；光強度 0.78 μmol m^{-2} s^{-1}、10 W)、藍紅光 LED (3B：1R; 中心波長分別為 450 nm 及 650 nm；光強度 0.32 μmol m^{-2} s^{-1}、10 W)、10 W 白光 LED (W_{10W}; 兩主要波段之中心波長分別為 450 nm 及 540 nm；光強度 0.80 μmol m^{-2} s^{-1})、5 W 白光 LED

(W_{5W}; 兩主要波段之中心波長分別為 450 nm 及 540 nm；光強度 0.54 μmol m^{-2} s^{-1})、省電燈泡 1 顆 (ELB_1; 三主要波段之中心波長分別為 430 nm、540 nm 及 610 nm；光強度 0.73 μmol m^{-2} s^{-1}、色溫 6500 K，Philips Helix 晝光色)等 7 種人工光源。另本試驗亦使用自行設計光盤之 LED 光源(電壓 110 V)，放置高度為 0.4 m，計有紅光 660 nm LED (660 nm;中心波長 660 nm；光強度 5.79 μmol m^{-2} s^{-1})、藍光 470 nm LED (470 nm; 中心波長 470 nm；光強度 3.32 μmol m^{-2} s^{-1})等 2 種，加上不照光(no light treatment; CK)為對照組，合計 10 種人工光源處理。

試驗期間的肥培管理，分別於定植後 3 wk 及 7 wk 施以新樂園 1 號混合有機質肥料(粒劑，興農股份有限公司；成分為 4% N、3% P_2O_5、3% K_2O、1% MgO_2 及有機質 70%，4-3-3-1-70)。病蟲害管理，則視設施內病蟲害的發生情形而定，若發生疫病及萎凋病，施以 27.12%三元硫酸銅水懸劑(加水稀釋 800 倍，0.41 L a.i. ha^{-1}，Nufarm GmbH & Co KG, Austria，臺灣日產化工股份有限公司代理)及 25%撲克拉乳劑(加水稀釋 500 倍，0.37 L a.i. ha^{-1}，興農股份有限公司)；若發生灰黴病，施以 50%撲滅寧可濕性粉劑(加水稀釋 1,000 倍，500 g a.i. ha^{-1}，立農化學股份有限公司)；若發生蚜蟲、薊馬、粉蝨、二點葉蟎及鱗翅目幼蟲等蟲害，則酌施以 24%納乃得溶液(加水稀釋 1,000 倍，0.24 L a.i. ha^{-1}，興農股份有限公司)、2%阿巴汀乳劑(加水稀釋 1,000 倍，0.04 L a.i. ha^{-1}，興農股份有限公司)、2.8%畢芬寧乳劑(加水稀釋 1,000 倍，0.056 L a.i. ha^{-1}，興農股份有限公司)及 40.8%陶斯松乳劑(加水稀釋 1,000 倍，0.81 L a.i. ha^{-1}，興農股份有限公司)。

至開花前的生育期間，每隔 10 d 進行植株生長調查，分別量測株高及葉位數(即葉片數)。當不照光對照組植株達‘露蕾期’後，其他處理植株即停止夜間光照處理，並持續調查各特定波段光輻射處理植株達到‘露蕾期’及開花期(或稱到花)所需天數。生育期間隨時去除新生側芽使維持單一莖稈之所謂“一條龍”狀態，當植株生長至可切花階段，即橫切近土壤表面莖稈(即花莖)，再量測切花植株之下列開花性狀: 花莖長度(LS; cm)、地上部鮮重(AFW; g)、葉位數(NLN; No. $leaf^{-1}$)、花莖周長(CFS; mm)、花最大直徑(LDF; cm)、花周長(CF; cm)等。切花植株置於內徑 0.06 m 和高度 0.25 m 且含有 200 mL 逆滲透 RO 過濾水之圓柱形玻璃容器(Pyrex, Corning Inc., USA)中，每隔 7 d 進行換水 1 次，直到花朵萎凋為止。分別登記達 1/3 植株葉片萎凋日期(定義為切花株觀賞壽命，此時切花株已不具觀賞價值)、花朵萎凋日期(將花朵張開至花朵枯萎定義為花朵壽命，或稱花開天數)等，同時計算逢機取樣 8 株之平均測值。

試驗資料分析以 SAS 統計軟體(version 9.1) 進行變方分析 (ANOVA; analysis of variance)檢定，並使用最小顯著性差異測驗(least significance difference; LSD)以判定處理間的差異是否達到顯著性。統計繪圖，則使用 SPSS 公司之 SigmaPlot 軟體 (version 10.0)。

結果與討論

本試驗在 2011 年 10 月栽植冬菊常用大花種‘黃秀鳳’及 ‘龍鳳紫’，並以不同特定波段光輻射進行夜間光照處理後，達到露蕾、開花與切花的日期及瓶插後 1/3 植株葉片萎凋與花朵萎凋的日期整理如 Table 1。大花種‘黃秀鳳’及‘龍鳳紫’主要提供切花使用，在未以人工光源處理 4 h 夜間光照之對照組植株，‘黃秀鳳’達到露蕾日期為 11/07/2011、距離種植日期約 38.5 d，達到開花日期為 12/10/2011、距離種植日期約 71.0 d，切花株之葉片達到 1/3 萎凋日期為 12/23/2011、瓶插花朵觀賞壽命約 14.8 d，而切花株之花朵萎凋日期為 01/08/2012、瓶插花朵壽命(花開天數)約 30.6 d。‘龍鳳紫’ 達到露蕾日期為 10/23/2011、距離種植日期約 26.0 d，達到開花日期為 11/23/2011、距離種植日期約

Table 1. The recorded dates of different growth stages, from planting to flower-wilted, for two big-flower species/varieties of *Chrysanthemum*, 'Huang-Hsiu-Feng' and 'Lung-Feng-Tzu', grown in 2011 under nighttime lighting treatments using LEDs (light-emitting diodes) and ELB (energy-saving light bulb) as light sources.

Stage	Light source									
	CKz	470 nm	B	3B : 1R	ELB	W_{5W}	660 nm	3R : 1B	R	W_{10W}
Variety 'Huang-Hsiu-Feng'										
Planting	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01
Floral bud formation	11/07	11/07	11/06	11/20	11/27	11/28	12/04	11/26	12/09	12/04
	(38.5)y	(38.5)	(37.0)	(51.0)	(58.0)	(59.7)	(65.0)	(57.3)	(70.7)	(65.0)
Flowering	12/10	12/10	12/07	12/20	01/01	12/31	01/04	12/28	01/12	01/06
	(71.0)x	(71.0)	(68.3)	(81.3)	(93.0)	(92.7)	(96.3)	(89.3)	(104.0)	(98.0)
Flower-cut	12/10	12/10	12/07	12/20	01/01	12/31	01/04	12/28	01/12	01/06
1/3 leaves-wilted	12/23	12/25	12/22	01/10	01/19	01/18	01/19	01/17	01/24	01/24
	(14.8)w	(16.5)	(16.0)	(22.0)	(19.3)	(18.3)	(16.5)	(21.0)	(13.3)	(19.0)
Flower-wilted	01/08	01/10	01/08	01/24	01/28	01/29	01/31	01/25	02/06	02/02
	(30.6)v	(32.75)	(33.0)	(36.0)	(28.0)	(29.7)	(28.25)	(29.3)	(26.7)	(28.0)
Variety 'Lung-Feng-Tzu'										
Planting	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01	10/01
Floral bud formation	10/26	10/26	10/25	11/01	11/12	11/11	11/13	11/14	11/13	11/15
	(26.0)	(26.0)	(25.3)	(32.7)	(43.7)	(42.0)	(44.0)	(45.0)	(44.3)	(46.7)
Flowering	11/23	11/22	11/23	11/30	12/11	12/10	12/09	12/11	12/09	12/12
	(54.5)	(53.5)	(54.0)	(61.0)	(72.0)	(71.0)	(70.8)	(72.3)	(70.7)	(73.7)
Flower-cut	11/23	11/22	11/23	11/30	12/11	12/10	12/09	12/11	12/09	12/12
1/3 leaves-wilted	12/09	12/10	12/08	12/13	12/27	12/24	12/28	12/29	12/24	12/27
	(16.6)	(18.5)	(16.0)	(14.5)	(17.3)	(15.3)	(19.5)	(19.3)	(16.0)	(15.3)
Flower-wilted	12/13	12/16	12/17	12/25	01/16	01/09	01/11	01/19	01/07	01/11
	(21.1)	(24.5)	(25.0)	(26.3)	(37.0)	(31.0)	(33.3)	(40.0)	(29.7)	(30.3)

z CK: no light treatment; 470 nm: LED at 470 nm; B: blue light LED, 10 W; 3B : 1R (3x blue light + 1x red light) LED, 10W; ELB: energy-saving light bulb, 23W; W_{5W}: white light LED, 5W; 660 nm: LED at 660 nm; 3R : 1B (3x red light + 1x blue light) LED, 10W; R: red light LED, 10W; W_{10W}: white light LED, 10W.

y days required from planting to floral bud formation.

x days required from planting to flowering.

w days from flower-cut to one-third leaves wilted per plant.

v days from flower-cut to flower wilted.

54.5 d，切花株之葉片達到 1/3 萎凋日期為 12/09/2011、瓶插花朵觀賞壽命約 16.6 d，而切花株之花朵萎凋日期為 12/13/2011、瓶插花朵壽命約 21.1 d。雖然兩者皆屬大花栽培種，然而其花色、生育進展及花朵壽命等均有差異，可見不同菊花栽培種即使在相同栽培環境下仍可顯示其生育上差異。

利用最小顯著性差異測驗(LSD)比較不同光源處理對'黃秀鳳'及'龍鳳紫'生長性狀造成的差異(Fig. 1)，由'黃秀鳳'生長性狀圖，顯示 R 處理株具有最長的花莖長度及較多的葉位數，W_{10W} 處理將使植株得到較高的地上部鮮重，而 ELB 及 3R : 1B 處理最能促進花莖周長。續由花朵性狀的調查資料，3R : 1B 處理最能增加花朵直徑，W_{10W} 處理株有較大之花朵周長(Fig. 2)。另由'龍鳳紫'生長性狀圖，發現 W_{10W} 處理株有最長的花莖長度，R、W_{10W} 及 660 nm 處理株則有較多的葉位數，R 與 ELB 處理會促使植株得到較高的地上部鮮重，而 R 處理最能促進花莖周長。在花朵性狀部分，3R : 1B 處理株具有最長的花朵直徑，3R : 1B 與 R 處理有最大的花朵周長)。又由 Fig. 2 顯示，B 處理對兩種菊花栽培種的生長及花朵性狀似無明顯促進效果，調查數值與對照組處理者之間無顯著差異(Fig. 1 及 Fig. 2)，值得未來再深入探討其原因。

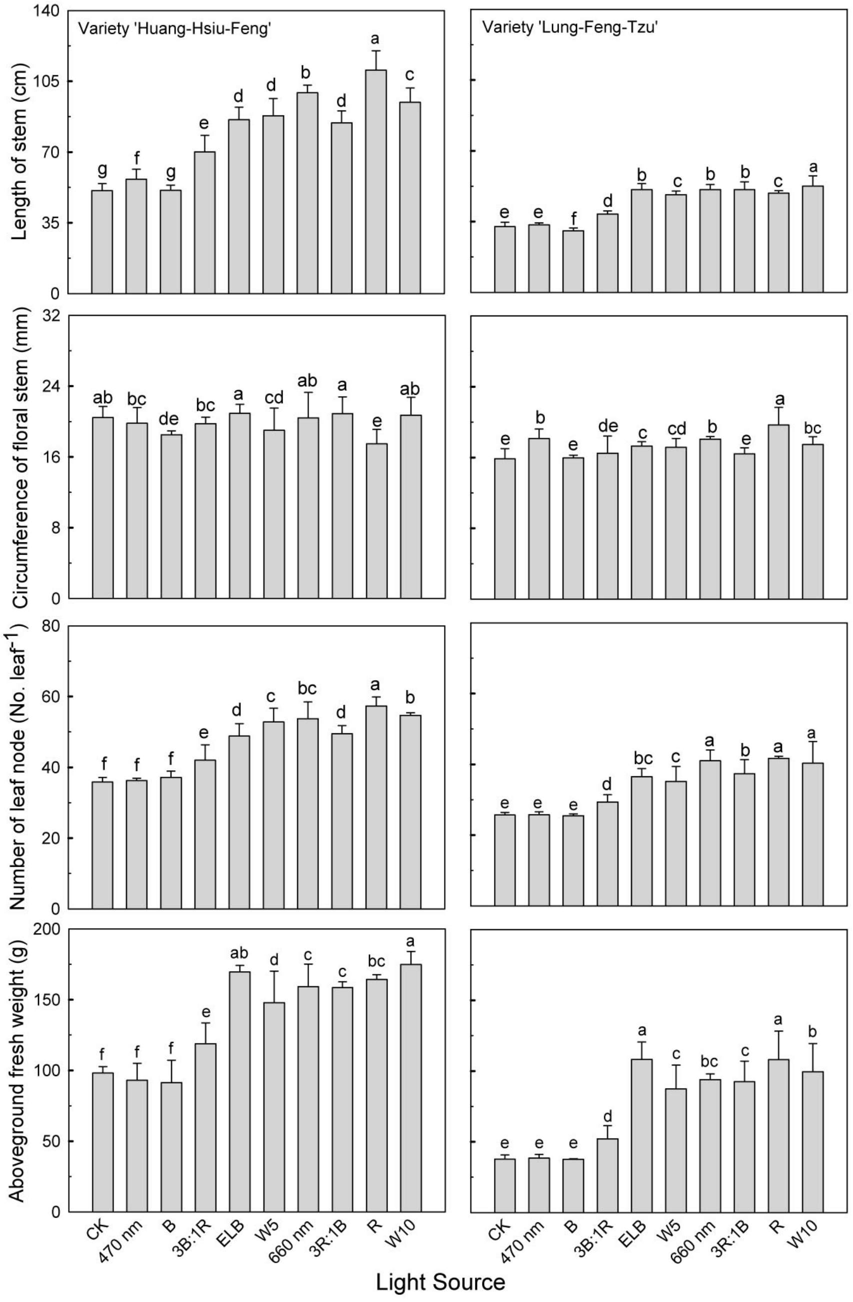

Fig 1. Effects of nighttime lighting on growth traits of *Chrysanthemum,* varieties of 'Huang-Hsiu-Feng' and 'Lung-Feng-Tzu'. Nighttime lighting treatments (22:00-02:00) started from planting till the formation of floral bud with respected to no light treatment. Error bar is the standard deviation (n = 8). Means with the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test. CK: no light treatment; 470 nm: LED at 470 nm; B: blue light LED, 10 W; 3B : 1R (3x blue light + 1x red light) LED, 10W; ELB: energy-saving light bulb, 23W; W_{5W}: white light LED, 5W; 660 nm: LED at 660 nm; 3R : 1B (3x red light + 1x blue light) LED, 10W; R: red light LED, 10W; and W_{10W}: white light LED, 10W.

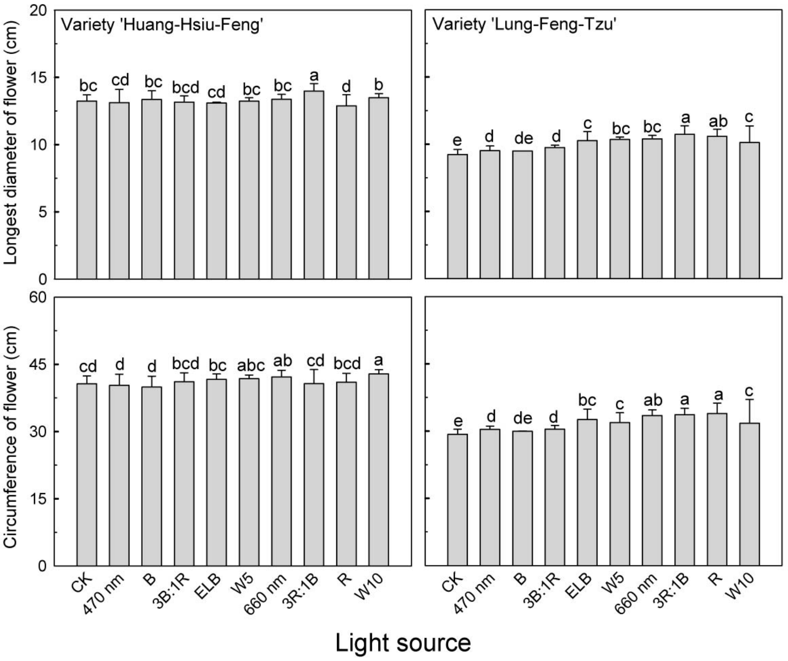

Fig. 2. Effects of nighttime lighting on floral traits of *Chrysanthemum*, varieties of 'Huang-Hsiu-Feng' and 'Lung-Feng-Tzu'. Nighttime lighting treatments (22:00-02:00) started from planting till the formation of floral bud. Error bar is the standard deviation (n = 8). Means with the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test. CK: no light treatment; 470 nm: LED at 470 nm; B: blue light LED, 10 W; 3B : 1R (3x blue light + 1x red light) LED, 10W; ELB: energy-saving light bulb, 23W; W_{5W}: white light LED, 5W; 660 nm: LED at 660 nm; 3R : 1B (3x red light + 1x blue light) LED, 10W; R: red light LED, 10W; and W_{10W}: white light LED, 10W.

如前述，不同波段光輻射的夜間光照處理可改變‘黃秀鳳’及‘龍鳳紫’兩種菊花植株生育的進展，造成從種植至露蕾、露蕾至開花及切花株花開天數上的差異(Fig. 3)。除了B處理之外，R、W_{10W}及660 nm等處理相較於不照光對照處理皆可明顯延長‘黃秀鳳’種植至露蕾所需天數約26–32 d，整個至開花所需天數則延長約25–33 d。在‘龍鳳紫’的資料顯示，W_{10W}、R、3R : 1B、660 nm及ELB等5種處理，相較於對照組，可增加達到露蕾所需天數約17–20 d，而整個達到開花所需天數則延長16–19 d。此一分段分析結果，釐清了夜間光照主要效應在於延長種植至露蕾所需天數，而非露蕾至開花所需天數。惟無論‘黃秀鳳’或‘龍鳳紫’，由種植至露蕾、露蕾至開花及花開天數等性狀，B與不照光對照組之間並無明顯差異(Fig. 3)，顯示藍光波段對於參試兩冬菊栽培種的生育進展似無明顯作用，不適合利用於開花期的調節用途。

經檢視‘黃秀鳳’及‘龍鳳紫’於不同光輻射處理下之花開天數與生長性狀之迴歸分析結果(Fig. 4)，在夜間光照處理之下，‘黃秀鳳’植株的花莖長度、花莖周長、葉位數及地上部鮮重等性狀皆與花開天數呈顯著二次曲線關係，而‘龍鳳紫’ 植株除了花莖周長之外，花莖高度、葉位數及地上部鮮重等性狀皆與花開天數呈顯著二次曲線關係。再由花朵性狀與花開天數的迴歸分析(Fig. 5)顯示，僅有‘龍鳳紫’呈現顯著二次曲線正相關，而‘黃秀鳳’則無。因此，夜間光照處理若能增大花莖直徑及花朵周長，可有助於‘龍鳳紫’增加花開天數，然而此現象因栽培種而異。

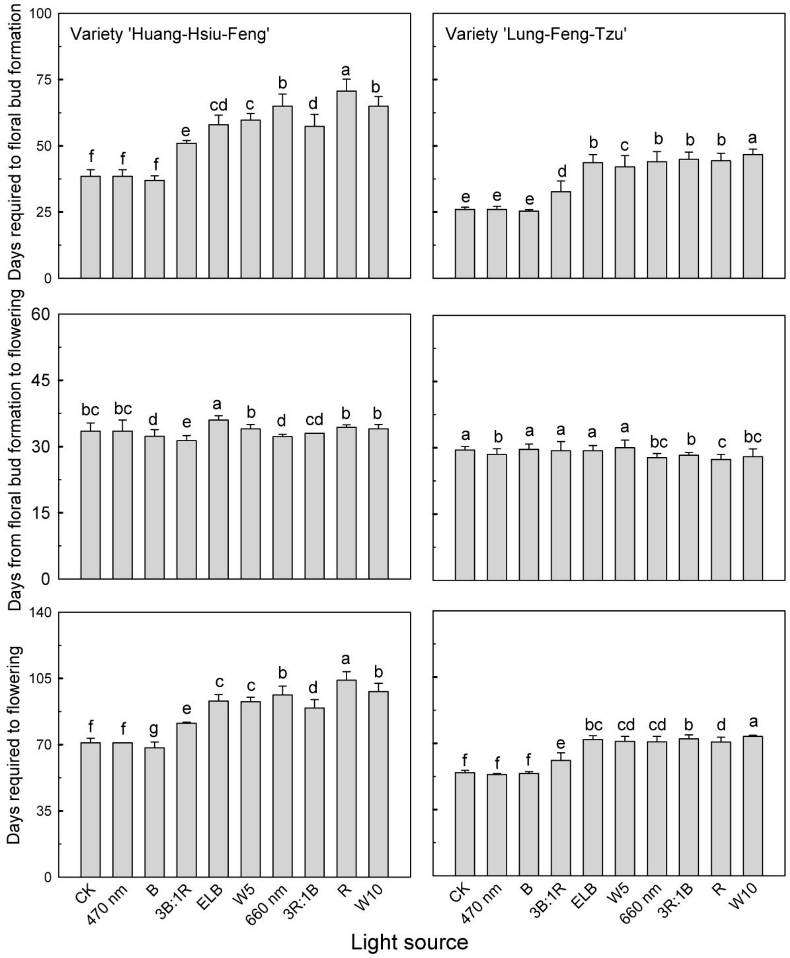

Fig. 3. Effects of nighttime illumination on flowering timing of *Chrysanthemum*, varieties of 'Huang-Hsiu-Feng' and 'Lung-Feng-Tzu'. Nighttime illumination treatment (22:00-02:00) started from planting till the formation of floral bud. Error bar is the standard deviation (n=8). Means with the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test. CK: no light treatment; 470 nm: LED at 470 nm; B: blue light LED, 10 W; 3B : 1R (3x blue light + 1x red light) LED, 10W; ELB: energy-saving light bulb, 23W; W_{5W}: white light LED, 5W; 660 nm: LED at 660 nm; 3R : 1B (3x red light + 1x blue light) LED, 10W; R: red light LED, 10W; and W_{10W}: white light LED, 10W.

另探討生育進展與花開天數之相關(Fig. 6)，在本試驗的條件下，發現‘黃秀鳳’及‘龍鳳紫’達到開花所需天數(開花期)與花開天數之間為二次曲線分佈，惟僅‘龍鳳紫’之關係達顯著水準。‘龍鳳紫’之開花期愈長則其花朵萎凋速度愈慢，顯然較長的開花所需天數具有延長花開天數的正向效應。進一步比較不同生育期的影響，顯示種植至露蕾所需天數的長短在‘龍鳳紫’植株皆具有正面效果，可能較長營養生長期有利於後續生殖生長，進而加大了花朵、也增加了花開天數(Fig. 5 及 Fig. 6)。綜合這些試驗結果，顯示有些菊花栽培種(如‘龍鳳紫’)，果若能夠正向促進其生長或調節生育進展，將可能因為增大花朵與延長花開天數而提升菊花的開花品質，惜此一現象因栽培種而異。又綜合檢視各種夜間光照處理，發現此兩種菊花概以 R、W_{10W}、3R : 1B 及 ELB 等光源處理具有較佳效果。

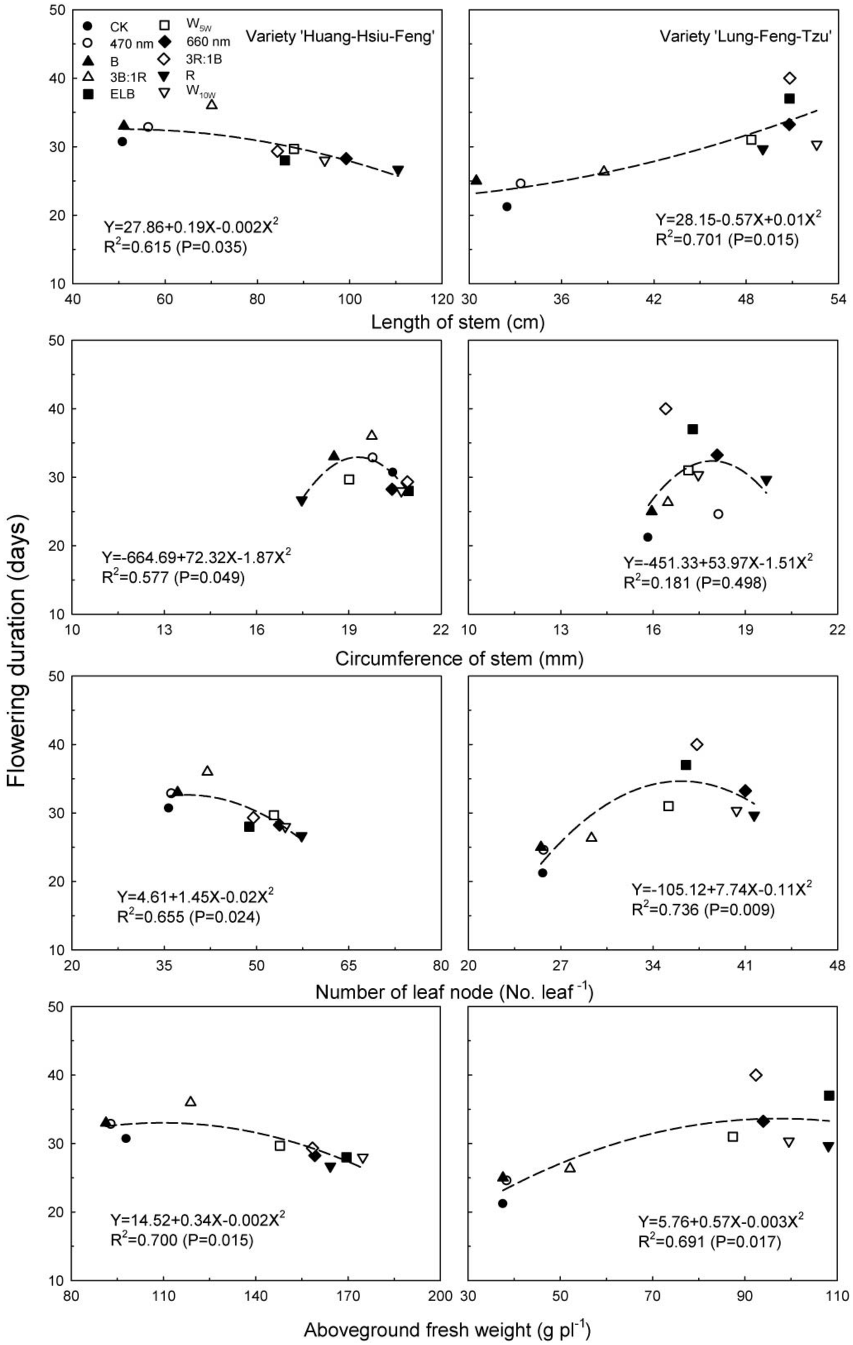

Fig 4. Changes of flowering duration of cut-flower to growth traits in plants of *Chrysanthemum*, varieties of 'Huang-Hsiu-Feng' and 'Lung-Feng-Tzu', grown under nighttime lighting treatments using LEDs (light-emitting diodes) and ELB (energy-saving light bulb) as light sources. CK: no light treatment; 470 nm: 470 nm wavelength; B: blue light LED, 10W; 3B : 1R (3x blue light + 1x red light) LED, 10W; ELB: energy-saving light bulb, 23W; W_5: white light LED, 5W; 660 nm: 660 nm wavelength; 3R : 1B (3x red light + 1x blue light) LED, 10W; R: red light LED, 10W; and W_{10}: white light LED, 10W.

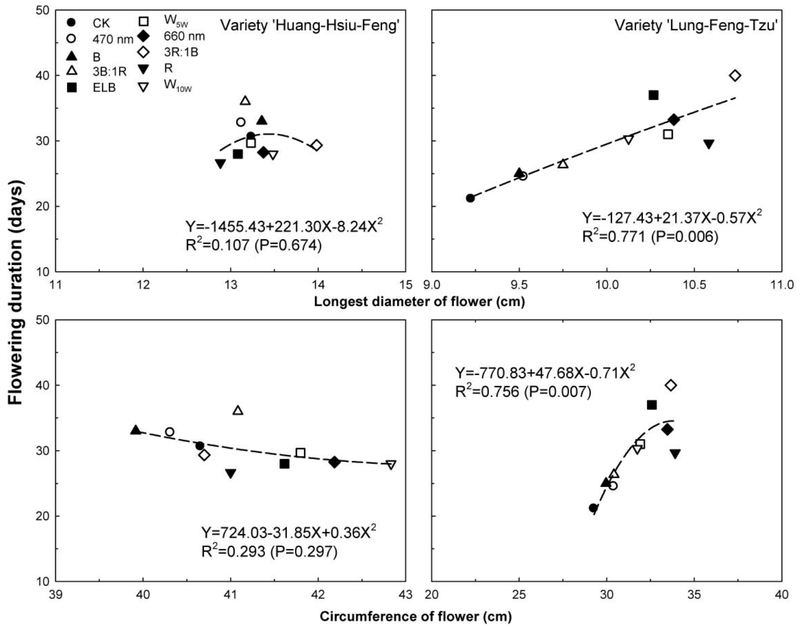

Fig. 5. Changes of flowering duration of cut-flower to floral characters in plants of *Chrysanthemum*, varieties of 'Huang-Hsiu-Feng' and 'Lung-Feng-Tzu', grown under nighttime illumination treatments using LEDs (light-emitting diodes) and ELB (energy-saving light bulb) as light sources. CK: no light treatment; 470 nm: 470 nm wavelength; B: blue light LED, 10W; 3B : 1R (3x blue light + 1x red light) LED, 10W; ELB: energy-saving light bulb, 23W; W_5: white light LED, 5W; 660 nm: 660 nm wavelength; 3R : 1B (3x red light + 1x blue light) LED, 10W; R: red light LED, 10W; W_{10}: white light LED, 10W.

根據研究文獻，不同菊花栽培種其花芽分化至達到開花所需天數有所差異(Cockshull and Kofranek 1992, Van Zanten 1999, Yoder Brothers 2000)，且依照菊花栽培種對溫度反應的敏感程度，形成不等延遲開花天數的效果(De Jong 1984)。本研究使用的兩個冬菊栽培種，在未以人工光源處理 4 h 夜間光照之對照組植株，'黃秀鳳'達到開花所需天數為 71.0 d，而'龍鳳紫'則需要 54.5 d，經過不同人工光源夜間光照處理後，將獲得不等調節生育進展的效果，栽培種之間亦有所差別；如'黃秀鳳'以紅光處理對延長露蕾及開花所需天數效果最佳，而'龍鳳紫'則以 W_{10W} 處理最佳(Fig. 3)。另在花朵性狀與花開天數的迴歸分析結果，僅有'龍鳳紫'呈現顯著二次曲線正相關，而'黃秀鳳'則無(Fig. 5)，更進一步指出特定波段光輻射處理對不同栽培種菊花開花期調節及花朵品質促進效果上的差異。

根據文獻研究報告，光質、光強度及光照時間等照明因子會影響花芽的分化與形成(Cathey and Borthwick 1964, Cathey and Borthwick 1970, Huang and Chu 1984)。本試驗藉由不同波段光輻射的夜間光照處理，證實了紅光波段 LED 光源會促進參試菊花栽培種之花莖長度及開花性狀，且明顯地抑制花芽分化而延長開花所需天數(Figs. 1–3)，而藍光波段 LED 光源則無此效果，顯示紅光波段 LED 光源可能與參試菊花栽培種之生長性狀及開花性狀有關。Huang and Chu (1984) 研究指出菊花暗期光中斷之最低光強度為 0.287 μmol m^{-2} s^{-1} (20 lux)，即夜間光照處理之光強度需高於此測值，方能達到抑制(延後)開花之效果。本試驗亦發現若光強度增加則

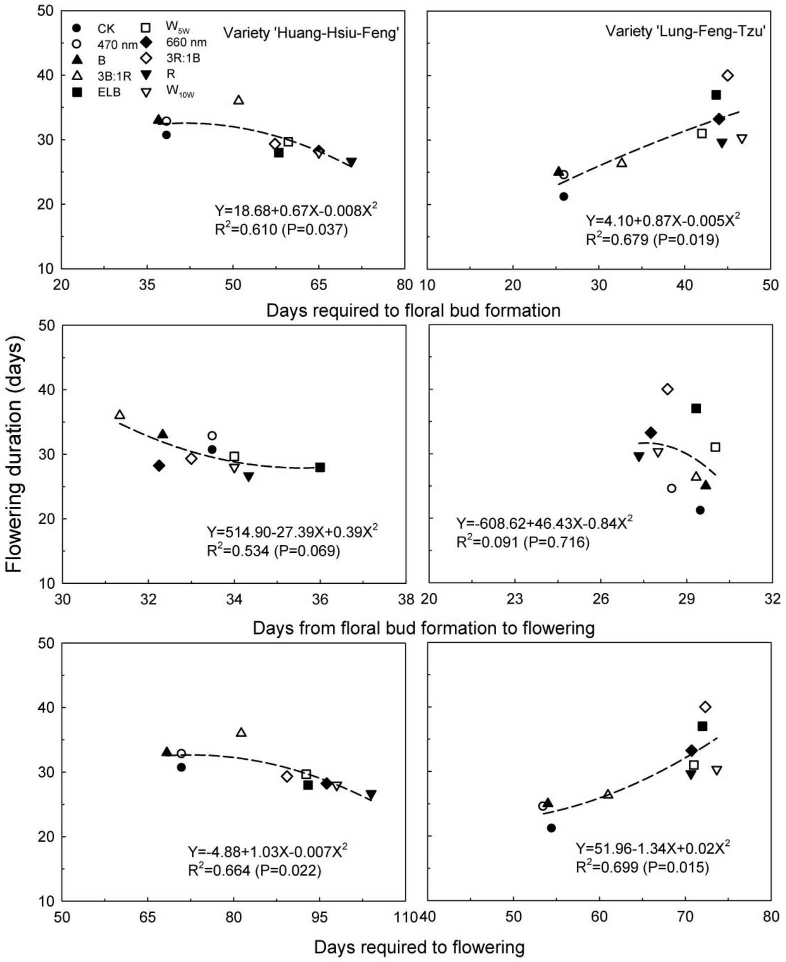

Fig 6. Changes of flowering duration of cut-flower to flower development in plants of *Chrysanthemum*, varieties of 'Huang-Hsiu-Feng' and 'Lung-Feng-Tzu', grown under nighttime lighting treatments using LEDs (light-emitting diodes) and ELB (energy-saving light bulb) as light sources. CK: no light treatment; 470 nm: 470 nm wavelength; B: blue light LED, 10W; 3B : 1R (3x blue light + 1x red light) LED, 10W; ELB: energy-saving light bulb, 23W; W_5: white light LED, 5W; 660 nm: 660 nm wavelength; 3R : 1B (3x red light + 1x blue light) LED, 10W; R: red light LED, 10W; and W_{10}: white light LED, 10W.

可促進參試菊花栽培種之生長性狀，且具有較佳的抑制(延後)花芽分化之效果，顯示光強度可能會影響本試驗參試菊花之生長性狀、花朵性狀及生育進展。

菊花大花種的外銷市場分級以長度 80 cm 為基準，並依重量分為四級：35–45 g、45–55 g、55–65 g、65–75 g 以上，而 35 g 以下則為級外品。本試驗大花種'黃秀鳳'在 ELB、W_{5W}、660 nm、3R : 1B、R 及 W_{10W} 等光源處理，可促使處理株的花莖長度增加至 80 cm 以上，且地上部鮮重亦可提高至 75 g 以上(Fig. 1)，顯示上述人工光源之夜間光照處理確實可提升菊花外銷的商品價值。由於除了光照因素之外，文獻亦指出溫度對於菊花的花芽分化及發育等的影響(Cathey 1954, Carvalho and Heuvelink 2001, Cockshull 1979, Whealy *et al*. 1987, Vince 1960)，因此未來研究可將溫度效應列入考量。

引用文獻

Adachi M, S Kawabata, R Sakiyama (2000) Effects of temperature and stem length on changes in carbohydrate content in summer-grown cut chrysanyhemums during development and senescence. **Postharvest Biol. Technol.** 20: 63–70.

Adams SR, S Pearson, P Hadley (1998) The effect of temperature on inflorescence initiation and subsequent development in chrysanthemum cv. Snowdon (*Chrysanthemum* x *morifolium* Ramat.). **Sci. Hort.** 77:59–72.

Appelgren M (1991) Effects of light quality on stem elongation of *Pelargonium* in vitro. **Sci. Hort.** 45:345-351.

Brown CS, AC Schuerger, JC Sager (1995) Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red light-emitting diodes with supplemental blue or far-red lighting. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 120:808–813.

Bula RJ, TW Morrow, TW Tibbitts, DT Barta, RW Ignatius, TS Martin (1991) Light-emitting diodes as a radiation source for plants. **HortScience** 26: 203–205.

Carvalho SMP, E Heuvelink (2001) Influence of greenhouse climate and plant density on external quality of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura): first steps towards a quality model. **J. Hort. Sci. Biotechnol.** 76: 249–258.

Cathey HM (1954) Chrysanthemum temperature study. C. The effect of night, day, and mean temperature upon the flowering of chrysanthemums. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.** 64:499–502.

Cathey HM, HA Borthwick (1964) Significance of dark reversion of phytochrome in flowering of *Chrysanthemum morifolium*. **Bot. Gaz.** 125: 232–236.

Cathey HM, HA Borthwick (1970) Photoreactions controlling flowering of *Chrysanthemum morifolium* (Ramat. and Hemfl.) illuminated with fluorescent lamps. **Plant Physiol.** 45: 235–239.

Cockshull KE (1979) Effects of irradiance and temperature on flowering of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. in continuous light. **Ann. Bot.** 44:451–460.

Cockshull KE, AM Kofranek (1992) Responses of garden chrysanthemums to daylength. **HortScience** 27: 113–115.

Cockshull KE, AM Kofranek (1994) High night temperatures delay flowers, produce abnormal flowers and retard stem growth of cut flower chrysanthemum. **Sci. Hort.** 56:217–234.

Coorts G (1973) Internal metabolic changes in cut flowers. **HortScience** 8:195–198.

De Jong J (1984) Genetic analysis in *Chrysanthemum morifolium*: 1. Flowering time and flower number at low and optimum temperature. **Euphytica** 33:455–463.

Franklin KA, VS Larner, GC Whitelam (2005) The signal transducing photoreceptors of plants. **Intl. J. Dev. Biol.** 49:653–664.

Huang M-C, C-Y Chu (1984) A design of standard light intensity for the control of flowering Chrysanthemum. (in Chinese with English abstract) **NCHU Hort.** 9:45–49.

Karlsson MG, RD Heins, JE Erwin, RD Berghage, WH Carlson, JA Biernbaum (1989) Temperature and photosynthetic photon flux influence chrysanthemum shoot development and flower initiation under short-day conditions. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 114: 158–163.

Kim S-J, E-J Hahn, J-W Heo, K-Y Paek (2004) Effects of LEDs on net photosynthetic rate, growth and leaf stomata of chrysanthemum plantlets in vitro. **Sci. Hort.** 101:143–151.

Lane HC, HM Cathey, LT Evans (1965) The dependence of flowering in several long-day plants on the spectral composition of light extending the photoperiod. **Amer. J. Bot.** 52: 1006–1014.

Larsen RU (1982) The effect of night temperature on flower initiation and early differentiation of *Chrysanthemum morifolium*. **Swed. J. Agric. Res.** 12:95–102.

Lepage I, J De Jong, L Smeets (1984) Effect of day and night temperatures during short photoperiods on growth and flowering of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. **Sci. Hort.** 22: 373–381.

Post K (1934) Production of early blooms of chrysanthemums by the use of black cloth to reduce the length of day. **Cornell Univ. Agric. Exp. Stn. Bull.** 594pp.

Runkle ES, RD Heins, AC Cameron, WH Carlson (1998) Flowering of herbaceous perennials under various night interruption and cyclic lighting treatments. **HortScience** 33:672–677.

Stack PA, FA Drummond (1998) Chrysanthemum flowering in a blue light-supplemented long day maintained for biocontrol of thrips. **HortScience** 33:710–715.

Sullivan JA, XW Deng (2003) From seed to seed: the role of photoreceptors in Arabidopsis development. **Dev. Biol.** 260:289–297.

Van der Ploeg A, E Heuvelink (2006) The influence of temperature on growth and development of chrysanthemum cultivars: a review. **J. Hort. Sci. Bio.** 81:174–182.

Van der Ploeg A, RJKN Kularathne, SMP Carvalho, E Heuvelink (2007) Variation between cut chrysanthemum cultivars in response to suboptimal temperature. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 132:52–59.

Van Zanten, North America (1999) Garden mum Catalog. Van Zanten, N.A., Oxnard, California. USA.

Vince D (1960) Low temperature effects on the flowering of *Chrysanthemum morifolium* Ramat.. **J. Hort. Sci.** 35:161-175.

Warrington IJ, RA Norton (1991) An evaluation of plant growth and development under various daily quantum integrals. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 116:544–551.

Whealy CA, TA Nell, JE Barrett (1987) High temperature effects on growth and floral development of chrysanthemum. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 112:464–468.

Yang C-M, Lee Y-J (2009) Applicability of light-emitting diodes on agricultural production processes from viewpoint of photoperiod in plants. (in Chinese with English abstract) **Crop Environ. Bioinform.** 6:192–200.

Yoder Brothers, Inc (2000) Pot mums, cut mums, and garden mum catalogs. Yoder Brothers, Inc., Barberton, Ohio. USA.

邀請編輯—謝廷芳